

Article

« Modélisation géomatique par évaluation multicritère pour la prospection des sites d'agriculture urbaine à Ouagadougou »

Conchita Mèvo Guézo Kêdowidé

[VertigO] *La revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 10, n° 2, 2010.

Pour citer cet article, utiliser l'information suivante :

URI: <http://id.erudit.org/iderudit/045511ar>

Note : les règles d'écriture des références bibliographiques peuvent varier selon les différents domaines du savoir.

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter à l'URI <https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/>

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche. Érudit offre des services d'édition numérique de documents scientifiques depuis 1998.

Pour communiquer avec les responsables d'Érudit : info@erudit.org

MODELISATION GEOMATIQUE PAR EVALUATION MULTICRITERE POUR LA PROSPECTION DES SITES D'AGRICULTURE URBAINE A OUAGADOUGOU

Conchita M. G. Kêdowidé, Enseignante en sciences géomatiques, Institut international d'ingénierie pour l'eau et l'environnement, 1, rue de la Science, 01 BP 594, Ouagadougou, Burkina Faso, courriel : conchitaked@yahoo.fr

Résumé : L'agriculture urbaine résout des problèmes réels en ville : sécurité alimentaire, chômage, assainissement de l'environnement, création d'espaces verts, etc. En dépit de ses fonctions vitales dans les pays en voie de développement, elle souffre d'un manque de reconnaissance et de poids économique à Ouagadougou, ce qui se traduit par une grande précarité et un caractère largement informel de ce secteur d'activités. Longtemps ignorée par les autorités burkinabés, le politique affiche actuellement une volonté quant à sa reconnaissance en l'intégrant dans le nouveau visage du paysage urbain du « Grand Ouaga » établi par le Schéma Directeur d'Aménagement horizon 2025 de cette zone urbaine. La présente étude se propose de modéliser le phénomène afin de prospecter par méthode géomatique l'aptitude du sol urbain à recevoir ce type d'agriculture de façon prospère et durable pour sa prise en compte dans le schéma de cohérence territoriale (SCOT) de la commune de Ouagadougou. Un des aspects les plus porteurs des systèmes d'information géographiques (SIG) est leur capacité à contribuer à l'aide à la décision. Parmi les fonctions SIG pour la modélisation spatio-temporelle et l'aide à la décision, l'évaluation multicritères s'avère être particulièrement utile en ce qui concerne la localisation des zones aptes à un usage. Elle se base sur l'hypothèse qu'il existe, pour une date donnée, une série de critères spatialisés pouvant expliquer la variabilité des états de l'occupation du sol, autrement dit son aptitude pour un usage. Des critères ont été identifiés pour l'usage par l'activité agricole et une base de données spatialisée a été mise en place pour servir de référence d'informations à la construction multicritère d'une carte d'aptitude indiquant les zones à potentiel élevé pour une mise en culture. La carte d'aptitude ou de probabilité obtenue indique que des sites existants se retrouvent le long des zones interdites situées dans les lits des plans d'eau surfaciques ou en plein centre-ville, caractérisées par une forte spéculation foncière. On y observe des zones qui gagneraient à être mises en culture car la compensation des risques entre les facteurs leur confèrent une bonne aptitude maraîchère ou horticole. Aussi, il apparaît que des espaces, notamment ceux situés sur la ceinture verte à réhabiliter, bien qu'apparemment défavorables à l'activité agricole pourraient abriter de façon prospère des cultures pluviales. L'interprétation des résultats permet de situer les apports et limites des résultats, de la méthodologie mise en œuvre, ainsi que son application sur d'autres sites à problématique et contexte similaires.

Mots-Clés : Système d'information géographique (SIG), modélisation, agriculture urbaine (AU), évaluation multicritère (EMC), Ouagadougou

Abstract: Agriculture in urban areas is a solution to problems such as food security, unemployment, environment issues, green spaces creation and so on. In spite of its major importance in developing countries, agriculture in urban areas is victim to a lack of recognition and to an important economical weight leading this business line to precariousness and informal. Shrugged off by the Burkinabe authorities for a long time, they currently show a will to recognize it by inserting this activity in the new face of the urban landscape "Grand Ouaga" established by the city planning 2025 of this urban zone. This study is about to modeling the phenomenon in order to prospect by geomatic means the capacity of the urban soil to receive agriculture and to plan it on a permanent basis for its consideration in Ouagadougou's municipality land development plan (SCOT). One of the main aspects of the Geographic Information System is their capacity to contribute to the decision making. Among the GIS function for a spatial and temporal modeling and decision helping, the multicriterion evaluation is particularly useful regarding the localization of high potential areas for a use. This method is based on the hypothesis that it exist, for a given date, a series of criterion spatialized able to explain the variability of land use, in other words the aptitude for a use. Some criterion, identified for the use of the agricultural activity and a spatialized database was established as information reference to multicriterion construction of map indicating the high potential areas for cultivation. The aptitude or probability map obtained indicates that the existing agricultural land meet along the restricted space of plans of permanent water

surface or downtown characterized by a strong land speculation. There, we can notice that potential areas should be used for cultivation because the adjustment of the risks among factors (criteria) confers them a good truck-farming or horticultural capacity. Besides, it appears that spaces, particularly those located on the green belt to be rehabilitated, although they are unfavourable to the agricultural activity, could shelter in a prosperous way pluvial cultivation. The results of the interpretation allowed us to be set on the limits of our contributions and results, the implemented methodology and its application on others sites with similar context and problems.

Keywords: Geographic Information System (GIS), modeling, urban agriculture (UA), multicriterion evaluation (MCE)

Introduction

Ouagadougou, à l'instar des capitales des pays en voie de développement connaît une forte croissance démographique (Ouattara et Somé 2009) conjuguée à un développement spatial anarchique de son territoire. Elle renferme plus de 10 % de la population totale du Burkina et près de 60 % de sa population urbaine (INDS, 2006). Cette situation rend complexe la gestion des ressources, la mise en œuvre des activités de développement et fait croître la demande alimentaire d'où l'importance de mener l'agriculture à proximité de la ville en l'absence d'infrastructures de communication adéquates pour assurer le transport des vivres (denrées périssables) depuis le rural

L'analyse du cadre humain et socio économique indique que l'agriculture dans cette ville contribue à l'insertion des groupes sociaux, à la sécurité alimentaire et à l'assainissement collectif, ce qui rejoint le diagnostic scientifique international (Moustier, 1996 ; FAO, 1999, Koc et al., 2000 ; Smith et al., 2004 ; Mougeot, 2006 ; Parrot, 2008a ; Parrot, 2008b ; Gueye et al., 2009) sur l'édification des villes agricoles (Mougeot, 2006 ; RUAF 2005) notamment dans les pays en voie de développement.

Et pourtant, la caractérisation faite à partir des données de terrain indique que l'activité est marginalisée dans cette entité administrative du Burkina et qu'elle dérange parce qu'elle s'installe là où la ville se développe (Kêdowidé, 2010). Elle est demandeuse de terres sujettes à des hautes spéculations financières et de la ressource en eau rare dans le contexte sahélien du Burkina. Ceci explique son caractère précaire et pendant longtemps sa non prise en compte dans les projets de planification urbaine (Compaoré, 2008 ;

N'Diaye 2008).

Convaincu de ses fonctions vitales, le politique affiche actuellement une volonté quant à la mise en œuvre de cette activité. Ainsi, à travers l'adoption du décret N° 99-270/PRES/PM/MIHU/MATS/MEE/MEF du 28 juillet 1999, relatif au schéma directeur d'aménagement du « Grand Ouaga » (SDAGO), le gouvernement a accepté de donner une place à l'agriculture dans le paysage périurbain de sa capitale.

Dès lors, toute question relative à un aménagement spatial quelconque situé dans la zone du Grand Ouaga devra prendre en compte les recommandations du SDAGO. La commune de Ouagadougou se trouve au cœur de l'espace du Grand Ouaga (figure 1) et force est de constater que l'espace qui y est alloué à l'activité agricole ne fait pas légion (AAPUI-ARDCADE, 2009). Pourtant l'agriculture urbaine est une réalité à Ouagadougou et il nous apparaît important que les endroits où les efforts devraient être concentrés pour le développement prospère de cette activité soient identifiés. Le SDAGO a donné les grandes orientations des aménagements de cet espace. Pour l'élaboration de différents plans locaux d'urbanisation (PLU) ou des Schémas de Cohérence Territoriale (SCOT), il est important que tous les paramètres intervenant dans un type d'aménagement donné soient pris en compte pour des implantations effectives durables. C'est en cela que nos travaux viennent compléter les orientations du SDAGO pour ce qui concerne l'emplacement des sites agricoles.

Il s'agit ici d'exploiter l'aspect multidisciplinaire à prendre en compte dans la mise en œuvre d'aménagements spécifiques, notamment l'implantation de sites agricoles urbains (Duchemin et al., 2008) et de ce fait proposer un outil d'aide d'allocation des terres dans le processus de gestion territoriale que connaissent les villes dans les pays en développement.

Parmi les possibilités géomatiques pour la modélisation spatio-temporelle et l'aide à la décision, l'évaluation

Référence électronique

Conchita M. G. Kêdowidé, 2010, « Modélisation géomatique par évaluation multicritère pour la prospection des sites d'agriculture urbaine à Ouagadougou », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 10 numéro 2, [En ligne] URL : <http://vertigo.revues.org/10368>

multicritères s'avère particulièrement être utile pour le paramétrage de scénarii en termes de prise de risque et de compensation (Paegelow, 2004 ; 2007 ; Paegelow et Camacho, 2005). Elle se base sur l'hypothèse qu'il existe, pour une date donnée, une série de critères spatialisés pouvant expliquer la variabilité de l'aptitude pour un usage spécifique qui est l'activité agricole pour le présent cas d'étude. L'article illustre la méthodologie et les résultats obtenus par une modélisation géomatique conduisant à l'identification des sites à potentiels élevés pour la mise en œuvre durable de l'agriculture urbaine à Ouagadougou.

La variable étudiée : l'occupation du territoire urbain par l'agriculture

Le phénomène modélisé, l'agriculture urbaine (l'occupation du sol par l'agriculture urbaine), appelle un rapide commentaire. L'occupation du sol est un système complexe, ouvert et dynamique, révélateur de l'action de l'homme sur son milieu. En tant qu'indicateur des relations qu'entretiennent les sociétés avec le milieu, l'occupation du sol occupe une place privilégiée. Elle est directement visible dans le paysage et de ce fait, mémorisée depuis longtemps sous forme cartographique (Paegelow, 2004). Les présents travaux s'intéressent à l'occupation du sol par l'agriculture sur un territoire urbain.

Nous retenons d'une façon générale que l'agriculture est l'ensemble des travaux qui s'appliquent au sol pour faire produire des végétaux intéressant l'être humain. L'agriculture urbaine se distingue de l'agriculture rurale par sa présence dans le système économique et écologique urbain ; ce n'est pas son emplacement qui la différencie, mais le fait qu'elle est incorporée dans la ville et agit en interaction. Elle est une forme d'agriculture effectuée dans ou aux faubourgs d'une ville (Moustier, 1996). Elle comprend les produits provenant de l'agriculture, de l'élevage, de la pêche et de la sylviculture ainsi que leurs fonctions écologiques.

L'agriculture urbaine à Ouagadougou regroupe le maraîchage et l'horticulture urbains en plus des cultures pluviales (céréalières) qui se substituent au maraîchage en saison hivernale. Ces cultures satisfont les besoins de la

population urbaine et se pratiquent sur des unités agricoles de taille variable : depuis les petites surfaces (terrains vagues, bord des routes et des cours d'eaux et des plans d'eau, réserves administratives), aux exploitations intensives commerciales ou semi commerciales. La modélisation géomatique s'est donc intéressée à tous ces espaces pouvant recevoir une production agricole dans la ville et dans son environnement le plus proche.

Les spéculations cultivées par les maraîchers sont en général des légumes comme la salade (laitue), le chou, l'épinard (amarante), les feuilles d'oseille, les haricots verts, le céleri, le piment, la carotte, l'oignon, le gombo mais aussi des fruits tels que les fraises. Les horticulteurs quant à eux produisent des fleurs pour l'embellissement (roses, fleurs pour jardins), des arbres fruitiers (manguiers, bananiers etc.) et des espèces destinés essentiellement au reboisement (jatropa, acacia etc.). Les cultures céréalières de substitut sont : le maïs, le mil, le sorgho, le riz.

L'objectif de la présente étude est d'étudier les paramètres œuvrant pour une agriculture urbaine prospère et durable et les intégrer pour identifier les parcelles à potentiel élevé qui pourraient recevoir cette activité dans la Commune de Ouagadougou. Il sera obtenu comme résultat une carte décisionnelle classifiant sur une échelle de 0 (aptitude nulle) à 255 (aptitude maximale) le degré d'aptitude de chaque parcelle (de dimension 10mx10m) localisée sur notre zone d'étude ; une approche qui pourrait être appliquée sur d'autres sites à contexte similaire.

Le site d'étude

La commune d'Ouagadougou compte 30 secteurs et 17 villages périurbains administrés par cinq arrondissements (cf figure). Elle couvre une superficie totale de 519,66 km² pour une population moyenne estimée à 1 596 657 habitants en 2010 (AAPUI-ARCADE, 2009). Elle est dominée à plus de 75 % par l'habitat qui exerce toujours une forte pression foncière sur une autre nature d'occupation notamment l'agriculture. C'est tout l'enjeu de cette étude qui essaie de trouver une place à cette activité dans cet espace aux enchères très élevées.

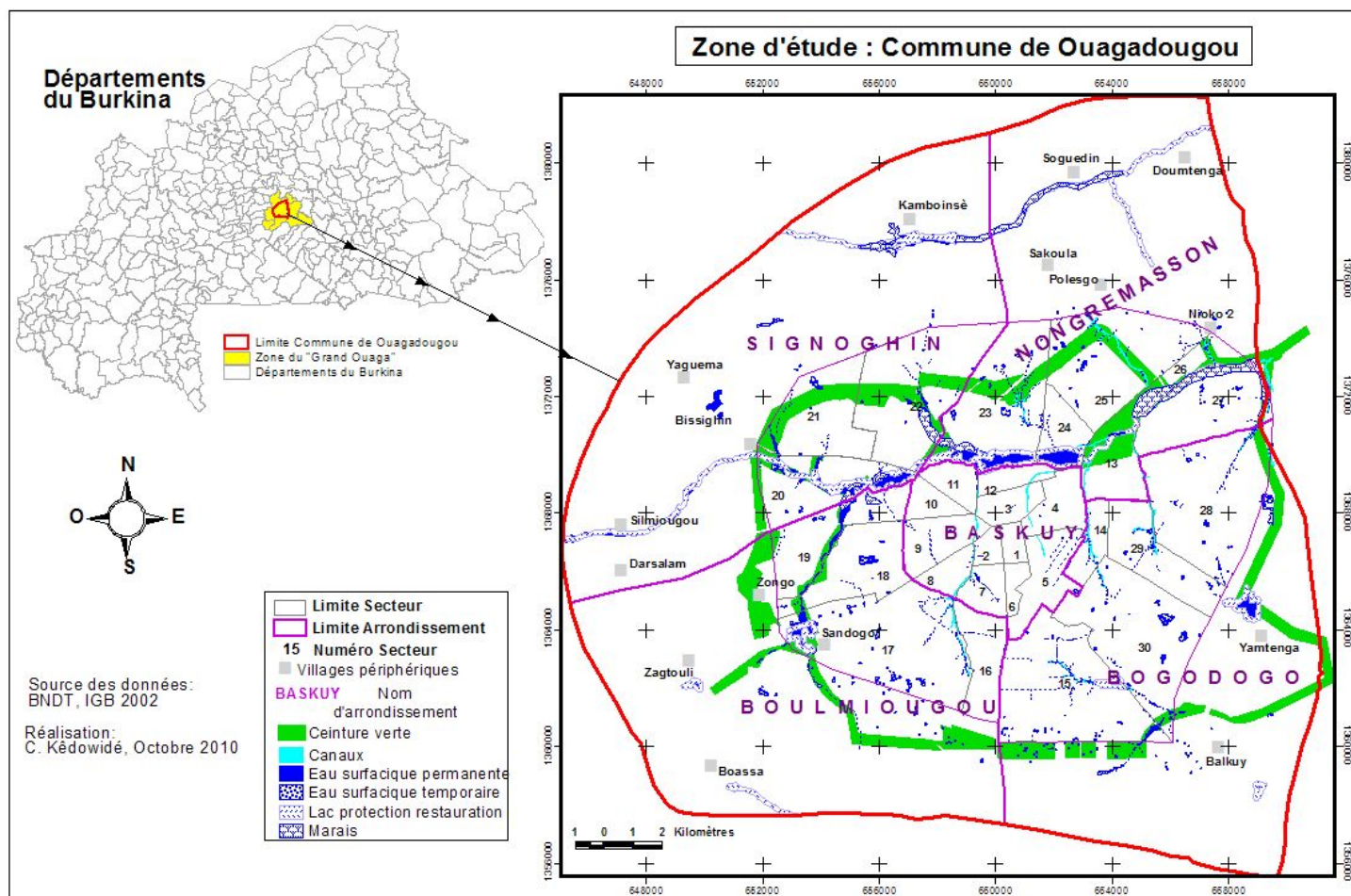


Figure 1. Situation de la zone d'étude : la Commune de Ouagadougou.

Méthodologie

Dans le cadre de notre recherche, nous nous sommes basés sur l'intégration des systèmes d'informations géographiques (SIG) et de l'évaluation multicritère (EMC) pour mettre en évidence les recompositions spatiales et, notamment, les zones potentielles pour la mise en culture agricole (figure 2).

Une telle analyse a pour but de produire une cartographie décisionnelle sur les zones potentielles agricoles en vue de leur intégration dans le plan d'aménagement de la ville de Ouagadougou. Elle s'intègre dans un concept communément appelé SADR (système d'aide à la décision à référence spatiale) (Bensaid et al, 2007). L'agriculture urbaine à Ouagadougou étant essentiellement une activité de subsistance, il est souhaitable que les efforts pour sa prospérité soient regroupés sur des sites potentiels identifiés en vue d'une meilleure efficacité (FAO, 1999).

La nécessité d'une approche d'intégration SIG et EMC

Les SIG sont des outils de gestion, de traitement et d'analyse des données, mais limités en tant que de véritables outils d'aide à la décision, notamment lorsque plusieurs critères et objectifs parfois contradictoires se trouvent en jeu. Selon Laaribi (2000), ils n'étaient qu'à leur première « balbutiements » en matière de véritables outils d'aide à la décision et nous pouvons dire que même si depuis une dizaine d'années, beaucoup d'efforts ont été fournis par les concepteurs des logiciels de SIG pour les faire évoluer, il n'en demeure pas moins que des améliorations restent à faire. Aujourd'hui, les problèmes décisionnels à référence spatiale présentent toutes les caractéristiques des problèmes multicritères ce qui veut dire que le traitement par l'évaluation multicritère devient incontournable.

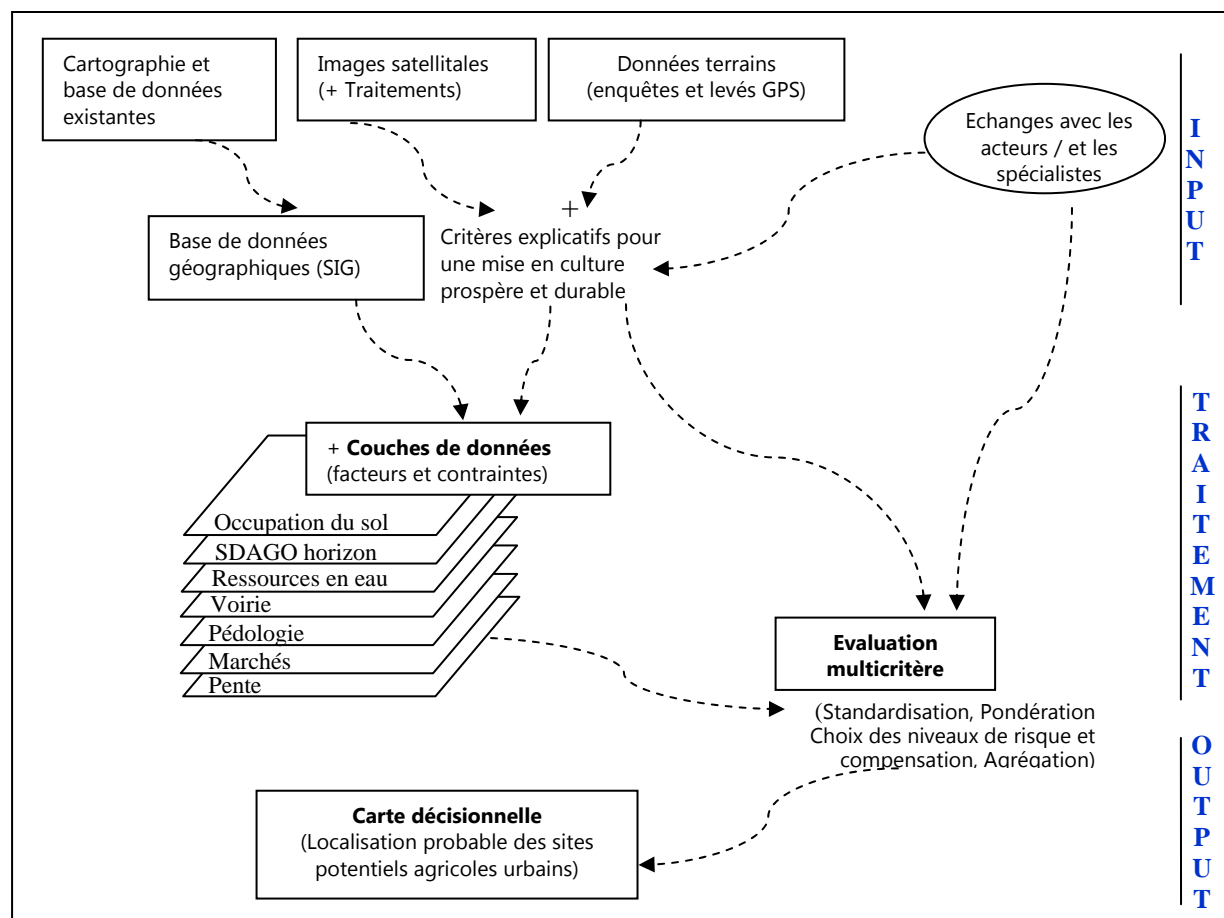


Figure 2. Approche méthodologique pour la modélisation pour la prospection des sites agricoles potentiels.

L'évaluation multicritère (EMC) est conduite dans la démarche d'une analyse multicritère (AMC) et selon Chakar (2006), il a existé des AMC spatiales sans utilisation des SIG : cas d'une localisation (Khalil et *al.*, 2003), aménagement et utilisation du sol (Koo et O'Connell, 2006), implantation d'infrastructures, calcul du plus court chemin, planification urbaine et régionale, zonage, environnement (Lahdelma et *al.*, 2000 ; Kiker et *al.*, 2005), agriculture (Janssen et Rietveld, 1990), gestion et conservation des ressources en eau (Raju et Pillai, 1999a), planification du transport (Jankowski, 1995).

Cependant, les méthodes d'AMC toutes seules sont incapables de tenir compte de tous les aspects des problèmes de décision à référence spatiale. En effet les logiciels d'AMC ne disposent pas de capacités nécessaires pour la gestion des données à référence spatiale et ils manquent d'outils nécessaires à la représentation cartographique des résultats qui peuvent améliorer leur

compréhension et à arriver à une meilleure maîtrise du processus décisionnel.

En revanche, le SIG est bien adapté pour répondre à ces deux insuffisances de l'approche classique de l'analyse multicritère spatiale. L'intégration du SIG et l'AMC semble donc être la meilleure solution pour combler leurs lacunes respectives. Elle constitue une voie privilégiée et incontournable pour faire évoluer les SIG vers de véritables systèmes d'aide à la décision (Laaribi 2000 ; Joerin 1997 ; Paegelow, 2004 ; Chakhar 2006). Notre choix d'intégrer le SIG et l'AMC nous a conduit vers le logiciel IDRISI qui est l'un des rares logiciels intégrant complètement d'un point de vue architecture informatique du logiciel les SIG et les AMC, une approche bien récente et innovante qui continue de faire ses preuves au sein de la communauté scientifique ce qui dénote de notre intérêt à cet outil pour l'objet de nos travaux.

La conduite de l'EMC sous Idrisi

L'EMC est utilisé sous Idrisi dans le sens d'Eastman (1993, 2001) et de Yager (1988) ; l'objectif est de fournir des cartes d'aide à la décision pour un usage unique, soit l'agriculture urbaine pour notre cas d'étude. Pour cet usage de l'espace la procédure générera une carte d'aptitude ou de probabilité que l'on peut qualifier de carte décisionnelle. Les principales étapes de l'EMC que nous avons suivies sont la catégorisation des couches critères en facteurs et contraintes, la standardisation des facteurs (transformation des unités d'origine en indice d'aptitude) par recours à des fonctions d'appartenance de la logique floue (Fuzzy) et la pondération des facteurs (par la matrice dite de Saaty) et leur agrégation pour obtenir la carte d'aptitude.

L'implémentation de cette technique d'aide à la décision sous Idrisi distingue entre trois approches ; approches booléenne, CLP (Combinaison linéaire pondérée) et OWA (Ordered weighted Averaging). Dans le cas de cette étude, nous nous sommes limités à l'approche CLP qui prend en compte la notion de poids et de compensation de risque entre les différents critères.

Structuration et catégorisation des couches

La prospection et la simulation par évaluation multicritère (EMC) suppose des paramètres et des critères bien identifiés et élaborés de façon pertinentes. Plusieurs disciplines s'interfèrent en agriculture urbaine, les principaux sont : le cadastre, l'hydrologie, l'agronomie, l'économie, le social, l'environnement. Pour l'usage agricole, nous avons recensé des critères influents identifiés sur la base de l'analyse des données collectées sur le terrain (dynamique spatiale et temporelle, caractérisation et de diagnostic de l'activité), des échanges avec les spécialistes des domaines cités ci-dessus, des contraintes fournies par le Schéma Directeur d'Aménagement du Grand Ouaga (AAPUI-ARDCADE, 2009) issu d'une approche participative qui a impliqué tous les acteurs de l'aménagement du territoire burkinabé.

Le critère est l'élément de base d'une décision. Il peut être évalué ou mesuré. Il est implémenté sous deux types de variables sous Idrisi : les facteurs et les contraintes.

La couche "contrainte" indique que l'usage de l'espace pour l'utilisation en question est possible ou non. Il en résulte une carte booléenne qui masque (donc exclut de

l'analyse) les parcelles (représentées par des pixels) déclarés « impossibles » à une mise en culture dans notre cas d'étude. La couche "facteurs" indique le degré d'aptitude de chaque unité de l'espace pour l'utilisation en question ; plusieurs facteurs varient dans l'espace et confèrent à chaque unité de l'espace une aptitude variable : état de l'usage en cours du sol, proximité des cours d'eau, proximité des marchés d'écoulement, état des routes etc. Le facteur agit de façon progressive sur l'aptitude alors que la contrainte est un facteur limitant. Pour chacun des critères identifiés, la procédure calcule une carte critère qui mesure pour le critère spécifié le niveau d'aptitude ou d'inaptitude de l'unité d'espace à l'activité agricole. Ceci aboutit à une série de cartes qui seront agrégées par combinaison linéaire pondérée (CLP) afin d'établir la carte décisionnelle.

Dans l'application, sur la base des informations que nous avons pu rendre disponibles, la hiérarchisation et la catégorisation nous ont conduit à identifier 8 paramètres analysés selon les indicateurs en contraintes ou facteurs comme défini dans le tableau 1.

La conduite de l'EMC impose la disponibilité d'une base de connaissance de référence de ces paramètres sur laquelle s'appuie la vérification des critères et indicateurs. L'une des difficultés relative à l'analyse de phénomènes spatialisés dans les pays en voie de développement est l'indisponibilité de l'information géographique à jour ; il a donc fallu la compléter ou la reproduire selon les paramètres identifiés au tableau 1. Nous nous sommes basés sur les techniques de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques pour mettre en place cette base de données géographiques de référence. Les données de base sont issues de nos travaux de terrain (enquêtes, inventaires et relevés de points GPS) et la documentation cartographie existante qui a été collectée auprès d'institutions impliquées dans la mise en place de l'information géographique.

Les données primaires géographiques et descriptives collectées (cartes, plans, images, levés GPS) ont été traitées et analysées grâce aux fonctionnalités du logiciel SIG ArcGIS (acquisition, gestion, analyse spatiale, analyse thématique) pour l'élaboration de la base de connaissance géographique de référence.

La standardisation des facteurs

Afin de pouvoir intégrer plusieurs facteurs (qualitatif et quantitatif) dans le modèle (calcul de l'aptitude résultante de l'occupation du sol), il convient de les rendre comparables – autrement dit d'exprimer l'aptitude des différents facteurs sur une échelle commune. Dans le cas de la Combinaison Linéaire Pondérée (CLP) ou WLC (weighted linear combination), les facteurs sont standardisés sur une échelle continue d'aptitude allant de 0 (le moins apte) à 255 (le plus apte) en passant par 128 (moyennement apte). Une fois standardisés, il sera possible de comparer et de combiner les facteurs ; et au lieu de recourir à une décision tranchante, binaire, divisant l'espace en zones où l'usage en question est possible ou impossible, la combinaison linéaire pondérée (CLP) utilise un concept plus flexible, pour délimiter les zones aptes ou non aptes.

L'affectation d'un indice d'aptitude peut être manuelle (estimation d'aptitude de plusieurs natures de sol par exemple) ou modélisée (aptitude à construire sur la base du coût de parcours sur une distance par exemple) par recours à une fonction d'appartenance. Le logiciel Idrisi 32 que nous avons utilisé propose la fonction « Fuzzy » (logique floue) pour modéliser le degré d'aptitude. Cet outil prévoit quatre fonctions d'appartenance : sigmoïde, j-shaped, linéaire ou une fonction définie par l'utilisateur. Les contraintes, par contre, gardent leur caractère binaire : emplacement possible ou impossible.

La pondération des facteurs et l'agrégation

Un des avantages de la combinaison linéaire pondérée est la possibilité de pondérer chacun des facteurs entrant dans l'agrégation des critères (Eastman 2001). Le poids des facteurs indique leur importance relative par rapport à tous les autres. Avec la CLP, la compensation est totale. Un facteur d'aptitude faible pour une zone donnée peut être compensé par un autre ayant un degré d'aptitude élevée car l'importance de chacun des facteurs est déterminée par le poids que l'on lui affecte

Si le nombre de facteurs est élevé, il est souvent difficile d'estimer le poids relatif de chacun d'eux. Une solution consiste à comparer chaque facteur avec chaque autre, une comparaison par paires (cf. tableau2) et de déduire ensuite leur poids total résultant par calcul statistique. C'est ce que préconise l'approche de Saaty (1977) que nous avons adoptée dans le cas de cette étude car le nombre de

Tableau 1. Catégorisation des critères en contraintes et facteurs.

Paramètres	Type de critère
Contraintes à l'AU	« couche contrainte » ; masque sur les emplacements lotis ou construits, sur tous les emplacements réservés à l'implantation d'infrastructures par le SDAGO, sur les agglomérations, sur l'emplacement même des plans d'eau et du réseau de la voirie
SDAGO horizon 2025	« couche facteur », facteurs favorable sur les zones vertes réservées par le SDAGO (ceinture verte, zone d'écotourisme et dans une très moindre mesure le parc Bangrèwogo qui lui est une aire protégée et classée)
Occupation actuelle du sol	« couche facteur » ; facteurs favorables ou très peu favorables définis selon l'évolution probable l'occupation actuelle du sol
Hydrographie	« couche facteur » ; aptitude définie selon la nature de la ressource en eau et de la distance la séparant d'un site potentiel ; trois couches facteurs ont été distinguées dans cette catégorie : les plans d'eau permanents, temporaires et les cours d'eau temporaires
Fertilité du sol	« couche facteur » ; aptitude définie selon la nature morpho pédologique du sol
Marchés	« couches facteurs » ; aptitude définie selon la distance séparant le site potentiel au marché ; deux couches facteurs ont été distinguées dans cette catégorie : les marchés principaux de vente en produits provenant de l'AU et ceux secondaires
Routes	« couche facteur » ; aptitude définie selon l'accès et la praticabilité des routes pour le transport des produits vers les marchés d'écoulement
Relief	« couche facteur » ; aptitude définie selon la pente

facteurs que nous prenons en compte dans la conduite de l'EMC est de 9. Le poids calculé de chaque facteur est son vecteur propre.

Tableau 2. Echelle de Saaty (1977) pour la pondération des facteurs par paires.

Expression d'un critère par rapport à un autre		Expression d'un critère par rapport à un autre	
	Echelle numérique		Echelle numérique
Même importance que	1	Modérément moins important que	1/3
Modérément plus important que	3	Fortement moins important que	1/5
Fortement plus important que	5	Très moins important que	1/7
Très important que	7	Extrêmement moins important que	1/9
Extrêmement plus important que	9		

La dernière étape de l'EMC est l'agrégation des critères pour classer par ordre croissant les alternatives, et dégager ainsi les meilleurs emplacements pour les sites agricoles dans la ville de Ouagadougou. La Combinaison Linéaire Pondérée nous permet une agrégation complète et génère une carte d'aptitude agricole sur laquelle chaque maille représente la somme pondérée de tous les critères pris en compte. Le résultat final sera la carte décisionnelle qui servira de référence pour les évaluations, les validations et les recommandations à formuler pour une implantation effective de sites agricoles prospères et durables.

Résultats

La base de données géographiques de référence

Les métadonnées contenues de cette base de données géographiques de référence concernent :

- Plan de la ville d'Ouagadougou (espace construit ou non)
- Carte d'occupation des terres (organisation de l'espace, activités et ressources naturelles)
- Carte d'aménagement horizon 2025 de l'espace du « Grand Ouaga »
- Réseau hydrographique : Cours d'eau, plan d'eau (lacs, barrages), points d'eau, canaux de conduite d'eaux usées, zones inondables ou marais
- Réseaux routiers (Voies de communication et leur classification)
- Localisation des marchés (principaux et secondaires selon leur niveau de vente des produits de l'AU)
- Localisation des sites agricoles actuelle et leur dynamique spatiale
- Carte sur l'aptitude morpho-pédologique du sol
- Informations liées au relief : Courbes de niveau, points côtés et pentes
- Information sur le découpage administratif de la commune d'Ouagadougou

Les sources de données géographiques ayant servi de référence pour l'élaboration de cette base de données sont : Base nationale de données topographiques éditée par l'Institut géographique du Burkina Faso en 2002 ; Base de données d'occupation des terres éditée par l'Institut géographique du Burkina Faso en 1995 ; Image google Earth (2008 et 2009) ; Image satellitaire *Quickbird* d'Ouagadougou (2005) ; Plan d'aménagement du Grand Ouaga horizon 2025 (AAPUI-ARDADE, 2009) ; Plan guide de la ville d'Ouagadougou (IGB, 1992) ; Carte topographique au 1/50000 (2002) ; Carte morpho pédologique de la commune d'Ouagadougou (AAPUI-ARDADE, 2009) ; Relevés terrains réalisés au Global Positioning System : GPS (2008, 2009).

Les données élaborées sous ArcGIS ont été importées sous IDRISI (version 32) puis converties en format raster (taille du pixel fixée à 10 mètres) et catégorisées en couches de facteurs ou de contraintes selon les critères choisis pour l'obtention d'un meilleur rendement de la mise en culture de la variable étudiée qui est l'occupation des terres.

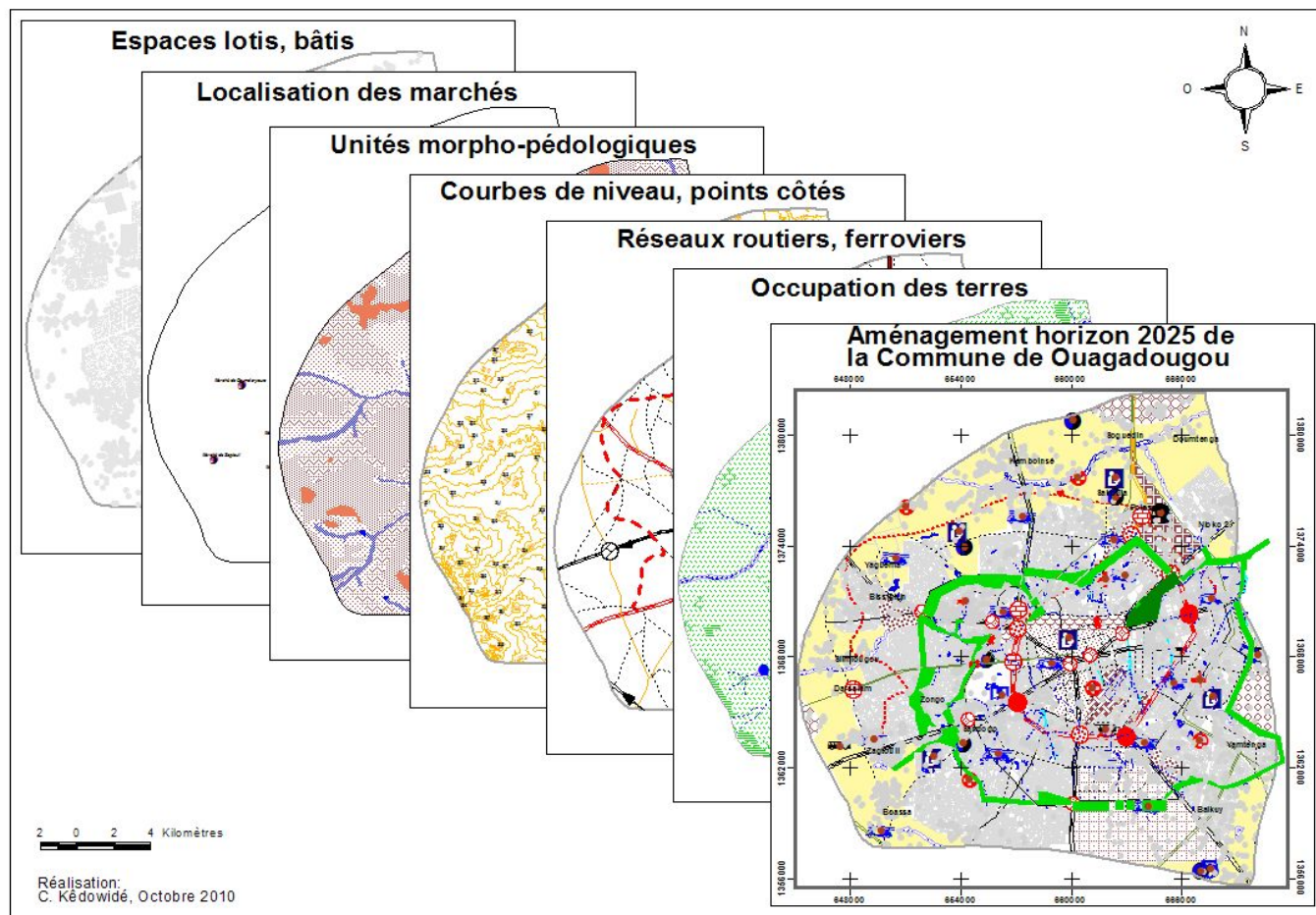


Figure 3. Les couches de la base de données géographiques de référence.

Les contraintes spatiales de l'agriculture urbaine (AU) à Ouagadougou

Les emplacements interdits à l'activité agricole dans la commune d'Ouagadougou concernent dans un premier temps les espaces construits ou déjà occupés (les zones loties et urbanisées, l'emplacement occupé par les voies de communications, les réseaux, les plans d'eau, les infrastructures socio communautaires ou tout construit ayant une fonctionnalité bien définie). Dans un second temps, les zones réservées par le Schéma Directeur horizon 2025 d'Aménagement du Grand Ouaga pour l'implantation d'infrastructures de voirie, administratives, socio communautaires, économiques etc. sont aussi des espaces interdits à l'activité agricole. Finalement, on retrouve les zones de protection qui sont déterminées par un rayon de 100 mètres autour des plans d'eau, des lignes de hautes tension, de chemin de fer).

La prise en compte de ces différentes contraintes a conduit à l'obtention de la carte booléenne qui masque les emplacements où il est impossible que l'activité agricole soit implantée (figure 3).

L'analyse des facteurs spatiaux pour l'identification d'un site agricole

Comme décrit au tableau 1 les facteurs étudiés sont : le type d'occupation future du sol prévu par le SDAGO horizon 2025 et celui existant actuellement, la proximité d'une ressource en eau, la localisation des marchés potentiels d'écoulement, le coût induit pour le déplacement par les routes vers les marchés et les lieux de résidences des agriculteurs, l'aptitude par rapport aux caractéristiques pédologiques et la valeur de la pente.

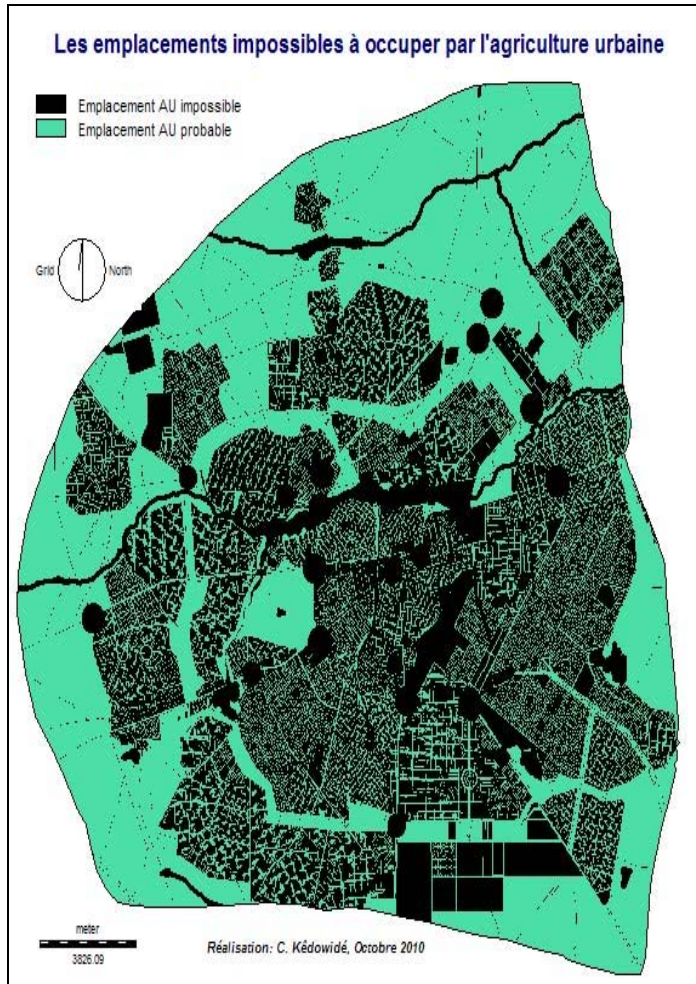


Figure 4. Carte masquant les zones "interdites" à l'activité agricole.

Le facteur relatif à l'occupation actuelle du sol

L'occupation actuelle du sol est très déterminante dans l'implantation des futurs sites agricoles ; elle exprime le premier paramètre incontournable dans la tenue de l'agriculture en ville (disponibilité des terres) et traduit la pression foncière qui contraint fortement l'activité. Selon l'existant sur une parcelle, ce paragraphe analyse son aptitude ou sa disponibilité probable à être convertie en site agricole potentiel. L'affectation de l'indice d'aptitude sur ce facteur tire sa justification de nos échanges avec les services de la Mairie chargés de l'aménagement du territoire et des exigences du SDAGO. Elle s'est faite manuellement et le tableau 3 résume les indicateurs considérés pour ce critère ainsi et sa standardisation pour exprimer son aptitude sur une échelle commune : degré

d'aptitude variant entre 0 (inapte) et 255 (aptitude maximale).

Tableau 3. Aptitude et standardisation du facteur relatif à l'occupation du sol.

Nature de l'occupation	Définition de l'aptitude et standardisation
Aéroport, Chantiers et espace en construction Décharges, Equipements sportifs et de loisirs Habitat rural, Réseaux routiers, ferroviaires et espaces associés, Tissu urbain continu, Tissu urbain discontinu, Zones industrielle, commerciales et socio collectives, Cours et voies d'eau temporaire, Plan d'eau artificiel, Plan d'eau naturel	Valeur = 0 (impossible) car espace occupé par l'urbain, les infrastructures socio communautaires ou la ressource en eau elle même ; Ces espaces font partie de la zone masquée dans les couches contraintes
Sols nus (érodés, dénudés, cuirasses) Extraction de matériaux	Valeur neutre = 128 , sols nus, pas très favorable a priori compte tenu de la nature pédologique du sol (érodée, sur cuirasse, matériaux).
Espaces verts urbains	Valeur = 192 , ce sont les espaces occupés par les jardins (maquis) et l'aire protégée de Bangrewogo. Bien que ce soit des espaces verts classés, on pourra penser à y implanter dans une certaine proportion des végétaux consommables ; d'où la valeur moyennement favorable affectée à ces espaces
Cultures pluviales, Systèmes cultureux et parcellaires complexes, Territoire agroforestier Territoires agricoles + espaces naturels imposés Savane arbustive	Valeur favorable = 224 (des zones déjà acquise à l'agriculture) mais certaines parties sont prévues par le SDAGO pour évoluer en espaces constructibles
Prairies marécageuses, Forêt galerie	Valeur très favorable = 255 (les zones les plus propices au maraîchage compte tenu de la présence de l'eau et du fait qu'on ne peut y mettre du construit)

Le facteur relatif aux zones vertes définies par la projection 2025 du SDAGO

Il s'agit ici de la prise en compte des directives imposées par le schéma directeur d'aménagement horizon 2025 du grand Ouaga (AAPUI-ARCADE, 2009) et qui militent particulièrement en faveur de l'existence d'espaces verts dans la Commune de Ouagadougou. L'affectation de l'indice d'aptitude sur ce facteur tire donc sa justification de l'organisation de l'espace du SDAGO tout comme le facteur lié à l'occupation actuelle du sol, sa standardisation s'est faite manuellement comme résumé dans le tableau 4.

Tableau 4. Aptitudes selon les projections 2025 de l'organisation de l'espace.

Aménagement SDAGO	Définition de l'aptitude et Observations
Ceinture verte Zone d'écotourisme	Valeur très favorable 255 car définit par le SDAGO adopté au niveau politique et administratif
Parc Bangrewogo	Valeur moyennement favorable = 192, comme définit au tableau 3
Zone non classée	Valeur neutre = 128 , elle ne fait pas l'objet d'une classification dans cette catégorie.

Le facteur lié à la caractéristique morpho-pédologique du sol

La ville de Ouagadougou repose sur des sols peu profonds et pauvres en éléments nutritifs. Ils ont une faible teneur en azote (< 0,06 %) et en potassium (Sanon et al, 2007). Mieux, ils sont caractérisés par une faible capacité d'infiltration et de conservation de l'eau.

La tenue prospère de l'activité agricole en un lieu est fortement liée à la richesse du sol ; plusieurs sites y sont conditionnés à Ouagadougou même si des solutions palliatives telles que l'apport des engrais sont adoptées sur le terrain. Mais force est de constater que si le sol ne dispose pas d'un minimum de nutriments, il lui serait impossible de fournir un minimum de rendement acceptable quelque soit la quantité d'engrais qui lui aura été administré (exemple des périmètres de Kossodo par Sou (2009)).

Aussi, les risques de contamination des cultures et du sol dans le cas d'utilisation des engrais chimiques dissuadent de cette approche dans une politique de développement durable. La tendance agricole urbaine durable devra adopter un sol à caractéristiques pédologiques aptes pour une prospérité de l'activité. L'affectation de l'indice d'aptitude sur ce facteur tire sa justification de nos échanges avec les spécialistes et de l'étude pédologique de l'espace du Grand Ouaga (Sanon et al, 2007). La standardisation (aptitude variant entre 0 et 255) s'est aussi faite par regroupement manuel en classes telle que résumé dans le tableau 5.

Tableau 5. Aptitude liée à la caractéristique morpho-pédologique du sol.

Nomenclature (Dominants)	Aptitude maraîchage	Degré d'aptitude
Lithosols sur cuirasse ou sur roches	Inapte	60
Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés de moins de 40 cm de profondeur	Neutre	128
Sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés d'au moins 40 cm de profondeur	Moyennement apte	180
Sols ferrugineux tropicaux lessivés à tâches et à concrétions Sols peu évolués d'apport alluvial hydromorphes	Apte	200
Sols hydromorphes peu humifères à pseudo-gley d'ensemble	Très Apte	224

Le facteur distance aux ressources en eau

La disponibilité de la ressource hydrique est l'un des paramètres clés pour l'agriculture en générale et pour l'agriculture urbaine en particulier. En effet aucune activité agricole n'est envisageable en l'absence d'eau ; et pour l'agriculture urbaine le critère de la proximité de cette ressource en eau est fondamental. A Ouagadougou, les exploitants utilisent entre 0,7 et 10 m³/jour suivant la taille de leur périmètre (Sawadogo, 2008). L'agriculture urbaine étant caractérisée par des cycles courts et de la polyculture sur toute l'année, la ressource d'eau proche des sites potentiels doit être permanente. Les principales ressources en eau de l'agriculture à Ouagadougou sont : les barrages ou retenues d'eau, les marais, les puits ou forages, les eaux

usées situées le long des canaux de drainage, la pluie pour les sites céréaliers. L'intégration de ce paramètre fondamental dans la conduite de l'EMC a été effectuée selon la nature et le type de la ressource. Ainsi, nous y avons distingué trois types de facteurs.

Le facteur distance aux plans d'eau permanents

Aptitude selon la proximité des eaux superficielles permanentes : plus le site est plus proche de la ressource en eau, plus elle voit son aptitude à conduire de façon durable l'activité agricole augmentée. Contrairement aux points d'eau et aux réseaux linéaires temporaires d'eau, cette proximité peut être relativisée (aptitude acceptée jusqu'à une distance de 300 m selon nos enquêtes sur le terrain) car de façon générale une petite irrigation ou un drainage de l'eau (par rigole) sur le site est mis en place sur le terrain. L'aptitude restera donc constante pour ce type de ressources jusqu'à 300m et va décroître selon une fonction linéaire et s'annuler au-delà de 600 mètres.

Le facteur distance aux plans et cours d'eau temporaires

Les plans d'eau temporaires ont un poids moindre que ceux permanents et les agriculteurs n'y installent en général pas de petites irrigations pour le drainage des eaux ; dans de rares cas, on y observe des rigoles. Ces ressources en eau doivent donc être le plus proche possible d'un site potentiel. L'aptitude restera constante pour ce type de ressources jusqu'à 100 mètres et va décroître selon une fonction linéaire et s'annuler au-delà de 300 mètres.

Le facteur distance par rapport à la localisation des marchés

L'aptitude est calculée en fonction de la proximité aux marchés principaux situés au centre ville et très attractifs en termes de vente des fruits et légumes, d'une part, et selon la proximité des marchés secondaires situés dans les localités autour du centre ville et peu attractifs en terme de vente des fruits et légumes (car la plupart des produits sont envoyés vers le centre ville où la demande est plus forte) d'autre part. Nous introduisons donc pour le thème marché ces deux types de couches facteurs. L'obtention des

données sur les marchés (localisation, niveau d'importance etc.) a fait l'objet d'une enquête sur le terrain.

La valeur de distance calculée varie entre 0 et 15 666 unités pour les marchés principaux et entre 0 et 12 821 unités pour les marchés secondaires. Une normalisation a été aussi appliquée sur ces couches afin qu'elles soient ramenées sur la même échelle d'aptitude (0 à 255) que les autres couches. La normalisation s'est faite avec une fonction décroissante linéaire de l'aptitude au fur et à mesure que le site potentiel s'éloigne d'un lieu d'écoulement.

Le facteur distance-coût aux infrastructures routières

L'intégration du facteur « infrastructures routières » dans cette modélisation vient du fait qu'elles interviennent dans le cadre de l'écoulement des produits lors de leur transports depuis les sites agricoles vers les marchés. La prise en compte de ce facteur est relative au « coût » engendré par le parcours d'un circuit « site agricole – marché » qui est fonction de l'état et de la praticabilité des voies de communication empruntées. Une telle modélisation s'implémente dans Idrisi par sa fonction COAST (Distance-Coût) qui intègre les données relatives à la classification du réseau routier à travers une friction qu'elle génère.

La distance coût aux infrastructures routières à Ouagadougou a été calculée sur la base de la classification routière (issue de l'occupation actuelle du sol et du SDAGO 2009) selon la surface calculée avec la friction définie au tableau 6.

La valeur de distance-coût calculée varie entre 0 et 85 718 unités. La normalisation a été modélisée par recours à la fonction linéaire décroissante de l'aptitude au fur et à mesure que la distance coût augmente ; ce qui justifie bien de l'importance de l'emplacement des routes et de leur qualité relativement à la localisation d'un site agricole potentiel.

Tableau 6. Friction pour le calcul de la distance-coût aux infrastructures routières.

Routes et classification	Friction	Explication
Circulaire à mettre en place	10	Ok mais non encore existant et vu le temps que prend un projet pour être réalisé ...
Circulaire existante	1	Coût de base idéal pour un transport rapide et moins coûteux vers les marchés
Circulaire inter village à bitumer	5	Ok mais moins pratique que celle qui existe et est bitumé
Non défini (Piste)	10	La valeur des pistes encore moindre car plus difficile à pratiquer
Voie ferrée à construire	50	Les voies ferrées n'apporte pas un plus dans l'acheminement car il ne s'agit pas d'exportation
Voie ferrée existant	50	
Voie primaire SDAGO	1	Coût de base idéal pour un transport rapide et moins coûteux vers les marchés
Voirie secondaire à bitumer finale	5	La valeur des routes non revêtue est moindre car plus difficile à pratiquer que les routes bitumées ou bien carrossables
Voirie secondaire existante	1	Coût de base idéal tout comme les voies primaires car bien carrossable et pratique pour les moyens de déplacements utilisés (engins deux roue, taxi ville) pour un transport rapide et moins coûteux vers les marchés

Le facteur pente

Le maintien de l'activité agricole en ville étant assujéti à la présence d'une ressource en eau, cette condition lui impose une localisation en bas-fonds ou en plaine. La pente du terrain est un paramètre important à prendre en compte dans la modélisation pour l'identification de sites agricoles. Les zones accidentées sont moins propices. La variable « pente » sur la Commune de Ouagadougou est dérivée directement du MNT (Modèle Numérique de Terrain). Ce dernier a été calculé sous Idrisi à partir des courbes de niveaux obtenues par numérisation de la carte topographique au 1/50000.

Située sur la vaste pénéplaine centrale du Burkina Faso, la ville de Ouagadougou se caractérise par un ensemble de terrains plats qui descendent en pente douce du sud vers le nord et par une absence de points élevés. La couche des pentes obtenue indique des valeurs faibles et variant moyennement entre 0,5 et 3 %. Cette zone fait partie du vieil ensemble cristallophyllien d'âge antécambrien, aplani et recouvert d'un manteau assez continu, mais d'épaisseurs irrégulières d'altérités, de cuirasses et de dépôts détritiques (Aapui et Arcade, 2009). Ces valeurs faibles de la pente

nous ont conduits à ne plus intégrer ce facteur (moins pertinent donc dans le cas d'étude de Ouagadougou) dans la conduite de l'EMC pour ne pas l'alourdir.

Les cartes critères

Chaque facteur étudié ci-dessus aboutit à une carte critère ce qui a conduit à l'obtention de 9 cartes critères devant être pondérées et agrégées en vue de l'obtention de la carte décisionnelle (figure 5).

La pondération des facteurs

L'étape de la pondération est très délicate et exige l'intervention des acteurs ainsi que des spécialistes dans les domaines concernés par la mise en pratique de l'agriculture urbaine. Pour chaque paire de facteurs possibles, nous avons déterminé le coefficient de comparaison sur la base de nos échanges avec les acteurs et spécialistes lors d'un atelier qui les a tous réunis. L'analyse des facteurs par paire a conduit à la matrice de pondération illustrée au tableau 7.

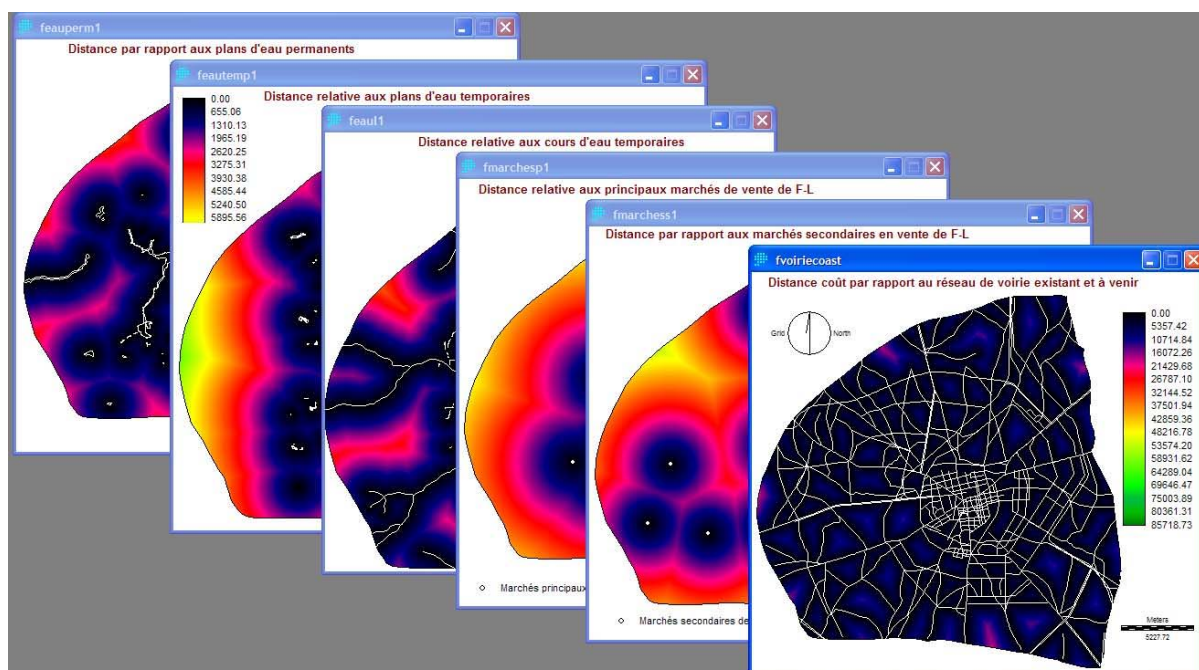


Figure 5. Quelques cartes critères établies dans le cadre de cette recherche.

Tableau 7. Pondération des facteurs par paire selon l'échelle de Saaty avec les poids des facteurs résultants.

	SDAGO	Occupation du sol	Pédologie	Cours d'eau temporaire	Plan d'eau permanent	Plan d'eau temporaire	Marchés principaux	Marchés secondaires	Voirie
SDAGO	1								
Occupation du sol	1	1							
Pédologie	1/5	1/3	1						
Cours d'eau temporaire	1	1	1	1					
Plan d'eau permanent	1	3	3	5	1				
Plan d'eau temporaire	1	1	1	3	1/3	1			
Marchés principaux	1	3	3	3	1/3	1	1		
Marchés secondaires	1/3	1/3	1/3	1/3	1/5	1/3	1/5	1	
Voirie	1/3	1/3	1/3	1	1/5	1/3	1/3	1	1
Vecteur propre	14.82 %	10.51 %	7.07 %	7.02 %	25.70 %	11.56 %	15.88 %	3.37 %	4.07 %

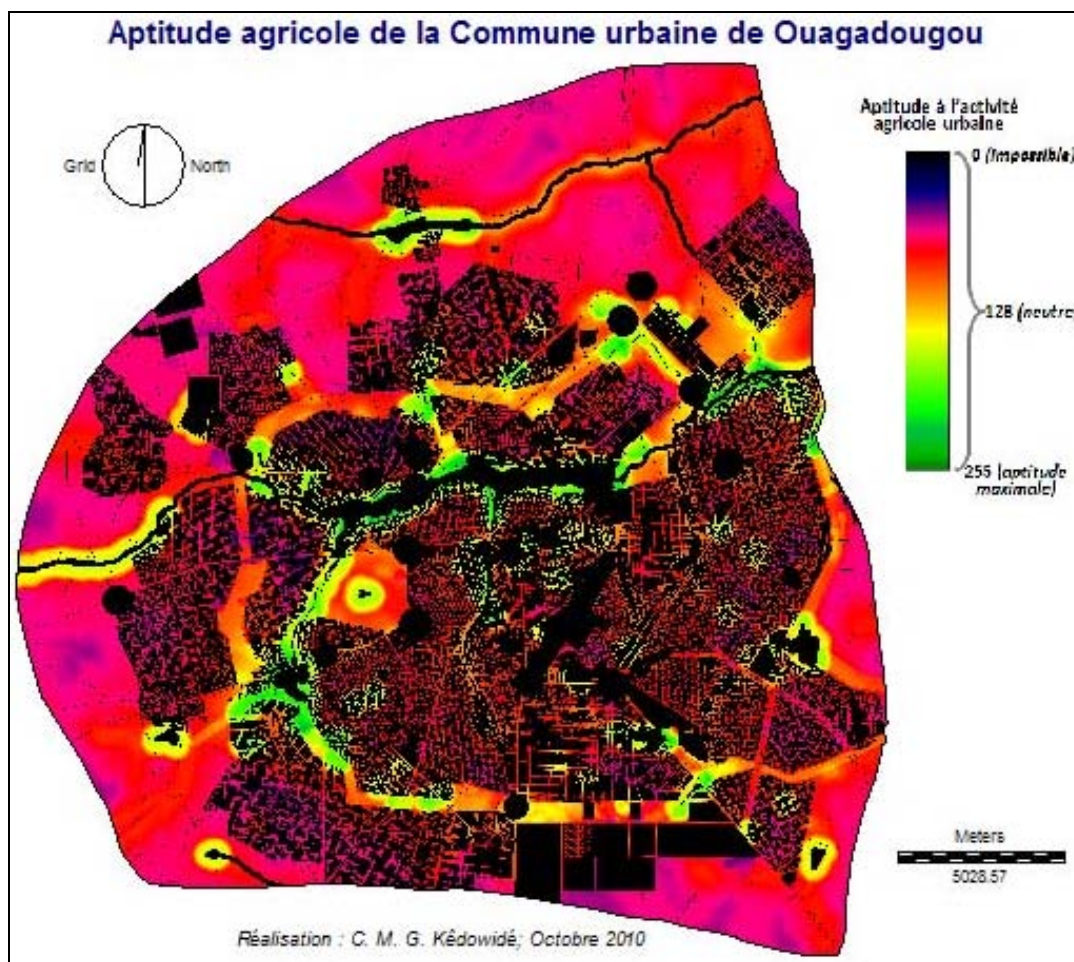


Figure 6. Carte d'aptitude agricole dans l'espace de la Commune de Ouagadougou.

La pondération finale (vecteur propre) des facteurs s'appuie sur des tests statistiques basés sur les coefficients de comparaison par paire. Il en ressort l'impact primordial des plans d'eau permanente (25,70 %), de la proximité des marchés d'écoulement (15,88 %) et des prévisions du schéma directeur d'aménagement horizon 2025 du Grand Ouaga (14,82 %). Les ressources en eau temporaires perdent relativement de leur importance compte tenu de leur caractère éphémère. Un autre facteur influent se trouve être l'état de l'occupation actuelle du sol (10,51 %). Les caractéristiques pédologiques ont un poids relativement faible compte tenu des possibilités de « préparation du sol » (différents éléments nutritifs qu'on peut lui fournir) qui existent et qui sont adoptés par tous les agriculteurs ; il en est de même de la voirie dont la densification actuelle dans la ville répond aux besoins de transport des produits maraîchers vers les marchés locaux.

Agrégation et élaboration de la carte d'aptitude agricole urbaine d'Ouagadougou

L'agrégation sous le module d'évaluation multicritère d'IDRISI représente la procédure de combinaison de critères prenant la forme :

$$C = \sum W_i X_i * IIC_j$$

où C est l'indice composite, X_i est la valeur du facteur i normalisée, W_i est le poids de chaque facteur et C_j est la valeur de la contrainte j. Dans le cas de cette étude, $i=9$ et $j=1$ (toutes les contraintes agrégées en une seule couche). L'agrégation des facteurs pondérés établit la carte d'aptitude (figure 6).

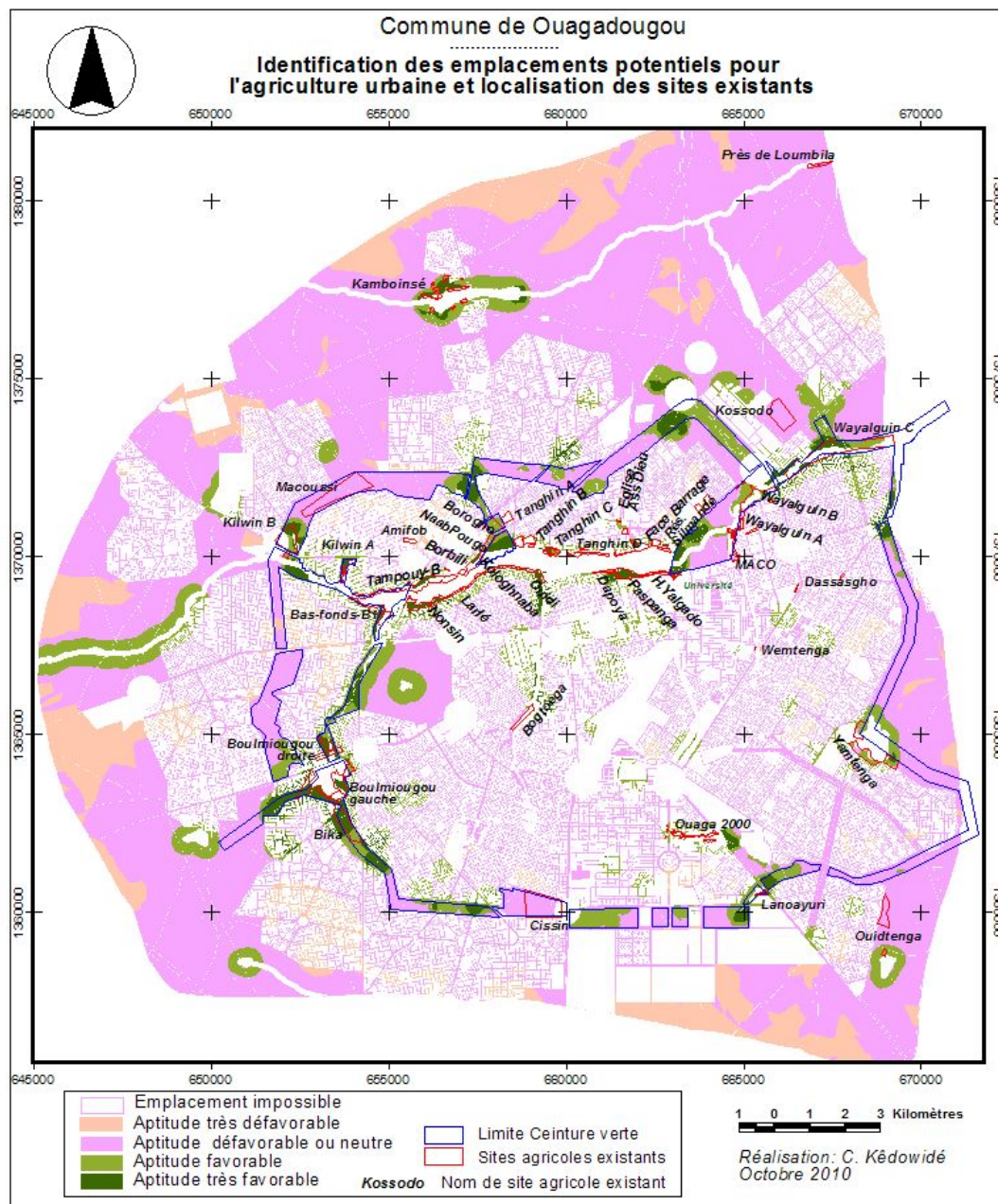


Figure 7. Aptitude agricole et localisation des sites existants.

Le résultat final obtenu pour la carte d'aptitude révèle que les sites aptes sont concentrés autour des points d'eau permanents et bas-fonds et proches des marchés centraux à l'intérieur de la ville. Il existe en centre ville loti une forte aptitude qui se dégage dans certains quartiers compte tenu de la présence des paramètres « Eaux » et « Marchés ». Mais force est de reconnaître qu'il ne s'agit pas là de sites durables compte tenu de la très forte spéculation foncière qui s'observe sur ces espaces.

L'aptitude se dégage en périphérique mais avec un niveau favorable moindre compte tenu de l'inexistence d'une ressource en eau même temporaire proche et de l'absence des marchés d'écoulement qui sont pour la plupart concentrés vers le centre ville. La projection d'aménagement du SDAGO n'y est pas favorable non plus et le poids affecté à l'occupation actuelle du sol (bien que très favorable pour ce critère) n'a pu compenser l'inaptitude affectée par la majorité du reste des critères.

La ceinture verte à réhabiliter dans le cadre du SDAO se trouve être très favorable par endroits et défavorable à d'autres (presque 50 % de cet espace). Ces espaces ne disposent pas d'une ressource en eau proche et ne se trouvent pas forcément à proximité des marchés principaux de vente de fruits et légumes. Il s'avèrerait donc important que la réflexion soit menée dans une approche intégrée sur la nature du « vert » qui devra être implantée dans le cadre de la restauration de cette ceinture.

Discussion

L'analyse de la localisation des sites existants

L'étude sur le diagnostic et la caractérisation de l'agriculture urbaine a permis de recenser plus d'une centaine de sites répartis sur une cinquantaine de zones agricoles dans la commune d'Ouagadougou (Kedowidé, 2010). On observe en 2009 une dizaine de sites maraîchers importants dont notamment Boulmiougou, Bika, Tampouy, Kilwin, Kossodo, Tanghin, Wayalghin, Paspanga, Bogtoega Ouidtenga qui couvrent presque 70 % des superficies cultivées (Kedowidé et al. 2010). Ces sites agricoles existants ont été superposés à la carte d'aptitude (vectorisée et classifiée en zones d'aptitudes – cf figure 6) en vue d'une analyse de leur localisation.

Plusieurs sites existants (Tanghin, Tampouye, Nonsin) se retrouvent le long des zones interdites des plans d'eau surfaciques permanents (barrages, lacs, canaux), ce qui explique leur déguerpissement permanent par la mairie ou les arrondissements. Mais on observe à proximité de ces plans d'eau, une aptitude maximale générée non seulement par la présence de l'eau permanente mais aussi par la prévision du SDAO d'y implanter des cultures horticoles. Il s'en suit que si autour des barrages, la zone de protection de 100 mètres est respectée, le reste des superficies marécageuses pourraient être mise en culture de façon durable que ce soit la spéculation horticole ou maraîchère qui soit adoptée.

Les sites les mieux placés (aptitude maximale) sont ceux de Boulmiougou, Bika, kamboinsè, certains de Tampouy et Nonsin, Wayalghin, Ouaga 2000, Ouidtenga. La plupart de ces sites sont favorisés par la caractéristique marécageuse du sol qui ne peut recevoir du construit malgré la forte spéculation foncière qui existe. Certains sites bien moins favorables tels que Cissin, Macoussi, Kossodo sont aussi mise en culture. On peut observer que la non aptitude de

Cissin et Macoussi provient principalement de l'inexistence d'une ressource en eau permanente proche, ce qui explique la spéculation céréalière (cultures pluvieuses) adoptée sur ces espaces qui y sont bien propices compte tenu de leur localisation sur la ceinture verte. Ces expériences pourraient donc être répétées sur une bonne partie de l'espace de cette ceinture verte à restaurer mais qui reste défavorable au maraîchage par plusieurs endroits. Par contre, le site de Kossodo s'avèrait inapte avant la construction de la STEP (Station d'Épuration d'eau usée) compte tenu de l'inexistence de plans d'eau proches et de marchés d'écoulement. L'aptitude de ce site est encore plus défavorable aujourd'hui compte tenu de la qualité non appropriée au maraîchage de l'eau usée traitée et de son action néfaste sur la caractéristique pédologique du sol (Sou, 2009).

Enfin, la carte de synthèse révèle des emplacements potentiels qui à ce jour ne sont pas encore mis en culture ; il s'agit notamment de zones situées vers les villages périphériques de Silmiougou, Zagtoui, Boassa qui sont des espaces marécageuses propices à l'activité agricole mais qui connaissent néanmoins des contraintes liées à la pérennité de la ressource eau et à l'éloignement des marchés potentiels.

L'importance de l'exhaustivité des critères et de la disponibilité des données y relatives

Dans une démarche de modélisation pour l'aide à la décision, la question la plus intéressante porte toujours sur ce qui « échappe » au modèle, autrement dit quels sont les critères pertinents qui n'ont pas été pris en compte et quels sont les territoires et les dynamiques auxquels le modèle n'apporte pas de réponse et pourquoi. Ce recul par rapport à l'EMC mise en œuvre a permis d'identifier certains paramètres à prendre en compte dans un tel cas d'étude et qui n'ont pu être considérés dans le contexte de la commune de Ouagadougou compte tenu soit de la non disponibilité de l'information, soit de la non pertinence du paramètre dans le présent cas d'étude. Au nombre de ces paramètres, nous citons l'insécurité foncière, le poids de la contribution au système d'assainissement de la ville.

D'autres paramètres pourraient être pris en compte selon les spécificités et contexte des zones d'études : paramètres liés à la pollution par les nitrates ou autres polluants etc. L'essentiel est d'établir qu'il s'agit de paramètres pertinents à l'échelle de travail qui devraient être intégrés au modèle

sans pour autant chercher à le complexifier au risque de le rendre inefficace et non transposable.

Les paramètres liés aux aspects fonciers

Les aspects fonciers définissent la pression foncière, l'insécurité foncière, les risques de déguerpissement auxquels sont soumis les agriculteurs urbains. Le foncier et l'eau sont les deux ressources fondamentales qui définissent notamment l'agriculture urbaine. La disponibilité sans contrainte de la ressource « terre » intégrée dans l'EMC devrait se voir affecter un poids aussi élevé que celui des plans d'eau permanents. Il nous est apparu difficile dans notre cas d'étude de pouvoir déterminer pour chaque parcelle (pixel) son niveau de sécurité foncière car ne pouvant avoir accès à son propriétaire (Etat ou Privé) et aux intentions de ce dernier quant à sa mise en valeur à court, moyen et long termes.

Néanmoins, au Burkina, toutes les terres appartiennent à l'Etat et la modélisation effectuée dans ce cas d'étude prend en compte cet aspect dans le respect des orientations d'aménagement prévues par le SDAGO que nous avons intégrées en facteur et contrainte dans la conduite de l'EMC.

Les paramètres liés à l'assainissement

L'un des aspects fondamentaux de l'agriculture dans le contexte urbain est sa participation au processus d'assainissement des villes : utilisation sous forme de compost des déchets recyclés, réutilisation des eaux usées traitées (Wéthé et al. 2001). Ces deux types de déchets sont sources de fertilisant pour l'agriculture urbaine. Il revient donc d'identifier l'emplacement des sites de traitement des déchets liquides et solides et d'intégrer leur poids dans la conduite de l'EMC à travers la distance les séparant d'un site supposé potentiel. Plus la distance entre le site de traitement et le site agricole serait minimale voire nulle, et plus élevée serait l'aptitude du site.

Dans le cas d'étude de Ouagadougou, cet aspect n'a pu être intégré car les emplacements de recyclage d'eaux usées ou de déchets ne font pas légion. En dehors du Centre d'Enfouissement Technique (dont la finalité principale n'est pas de produire des engrais organiques aux agriculteurs) et de la STEP de Kossodo (problématique de la qualité de l'eau), les emplacements existants sont ceux expérimentaux mis en place par le CREPA (Programme ECOSAN) pour l'hygiénisation des fèces humains en vue de

leur utilisation en agriculture urbaine comme engrais organique. Ainsi, ce paramètre bien important dans la thématique que nous traitons ne s'est pas avéré pertinent dans l'EMC que nous avons conduite sur Ouagadougou compte tenu de la place qu'il occupe aujourd'hui dans la filière et de la non disponibilité de données relatives au futur plan d'assainissement de la ville.

L'impact de la pondération des facteurs

Le poids des facteurs indique leur importance relative et met en lumière la compensation mutuelle qui s'effectue entre eux. La carte d'aptitude obtenue à l'issue de l'EMC sur Ouagadougou reflète la pondération utilisée qui privilégie des ressources en eau permanentes, la disponibilité de l'espace, la proximité d'un marché d'écoulement. Le diagnostic international confirme ces poids relatifs que nous avons donnés principalement à ces trois facteurs mais il peut apparaître que sur des terrains à contexte spécifique, la pondération évolue en faveur de facteurs différents.

Aussi, il est important de souligner que la traduction chiffrée relative à la pondération et la standardisation des facteurs sous Idrisi ne peut se justifier à l'unité ou au dixième près - faute de données et de recul dans la littérature. Cette approche apparaît donc un peu empirique et pourrait faire évoluer l'aptitude de certains pixels à l'échelle microscopique.

Le jeu des acteurs pour affiner le choix des critères et la pondération

L'agriculture urbaine à Ouagadougou concerne plusieurs types d'acteurs ce qui rend sa gestion difficile et pas toujours objective. Une planification durable de ce secteur d'activités devrait implémenter l'interrelation entre les différents types d'acteurs. L'identification de la terre agricole urbaine à potentiel élevé dans la Commune de Ouagadougou devrait donc prendre en compte deux dimensions :

- La dimension « territoire » devant identifier la terre possédant les meilleures propriétés agro-pédologiques et hydrologiques pour un rendement meilleur de sa mise en culture.
- La dimension « acteurs » faisant appel à une utilisation conflictuelle des ressources (terre et eau) et dont la recherche de solution passe par une méthode participative donc une modélisation d'accompagnement

Ces deux types de modélisation et leur intégration résume la démarche méthodologique qui devra être mise en œuvre dans le cas d'une telle étude. Il va s'en dire que seul le premier aspect lié à la dimension spatiale a été mise en exergue dans le présent article même si la dimension « acteur » soutient l'élaboration des paramètres et critères élaborés. Il s'agit ici de souligner pour tout cas d'étude, l'approche participative à adopter pour l'affinement et la validation des critères de sélection à retenir vu que l'on se place dans une démarche de planification durable de l'activité.

Conclusion

De nos jours, la gestion du territoire doit se faire de façon systémique en intégrant tous les paramètres relatifs à son aménagement durable. Les SIG combinés à l'analyse multicritère offrent ces possibilités. Cette démarche a été appliquée à la commune d'Ouagadougou pour spatialiser les espaces optimums à une mise en culture. La carte d'aptitude ou de probabilité obtenue est destinée à éclairer les décideurs et les aménageurs sur les zones potentielles devant recevoir l'agriculture urbaine pour qu'ils en tiennent compte dans la mise en œuvre effective des orientations du SDAGO.

La coordination des actions sur des sites potentiels identifiés va ainsi faciliter l'acquisition d'une sécurisation foncière, l'investissement dans l'équipement, le renforcement des capacités des exploitants, la mise en place des filières agricoles commerciales ... autant d'aspects qui justifient la conduite de ce cas d'étude qui met ainsi en lumière l'apport des technologies de l'information géographique et de la démarche multicritère pour l'amélioration de la productivité agricole et de la protection des ressources naturelles.

La robustesse et la fiabilité de la méthodologie reposent aussi sur la pertinence des critères d'aptitudes qui ont été choisis pour chaque paramètre, de la pondération adoptée, mais aussi de la qualité de l'information spatiale qui a été exploitée. Dans l'un ou l'autre des cas, les sources de nos données, les traitements que nous avons effectués et les échanges que nous avons eus avec les acteurs témoignent de la tendance spatiale critique de cette activité à l'intérieur de la ville.

Bibliographie

- AAPUI-ARCADE, 2009, Stratégie d'aménagement vol.II, In Schéma Directeur d'Aménagement du Grand Ouaga horizon 2025 ; Direction Générale de l'Urbanisme et des Travaux Fonciers : SP/ MHU ; Burkina
- Bensaid, A., M. Barki, O. Talbi, K. Benhanifia, et A. Mendas, 2007, L'analyse multicritère comme outil d'aide à la décision pour la localisation spatiale des zones à forte pression anthropique : le cas du département de Naâma en Algérie, *Revue Télédétection*, vol. 7, n° 1-2-3-4, p. 359-371
- Chakhar, S., 2006, Cartographie décisionnelle multicritère : formalisation et implémentation informatique, thèse Université Paris Dauphine, 300p
- Compaoré, D., 2008, Diagnostic de l'agriculture urbaine à Ouagadougou : mise en place d'un système d'information pour sa planification, Mémoire de fin d'étude d'ingénieur, 2IE, Burkina
- Duchemin, E., F. Wegmuller et A.-M. Legault, 2008, Urban agriculture : multi-dimensional tools for social development in poor neighbourhoods, *Field Actions Science Reports*, vol. 1, [En ligne], URL : <http://factsreports.revues.org/index113.html>, consulté 20 septembre 2010.
- Eastman, J.R., 1993, IDRISI, A grid based geographic analysis system. Massachusetts, Clark University
- Eastman, J.R., 2001, IDRISI32 Release 2. Tutorial. Worcester (MA, USA), Clark University, 237 p. (tutorial.pdf), [En ligne] URL : <http://www.clarklabs.org/>, consulté le 20 septembre
- FAO, 1999, Urban and peri-urban agriculture for consideration of the FAO Committee on Agriculture, Rome, Italie, FAO, 20p
- Guèye, N., F. Diop, S.W. Salimata et M. Sy, 2009, Agriculteurs dans les villes ouest-africaines, Enjeux fonciers et accès à l'eau, IAGU, KARTHALA, CREPOS, 194p
- INDS, 2006, Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH), Institut National de Démographie et des statistiques, [En ligne] URL : <http://www.insd.bf/fr/>, consulté le 20 septembre 2010
- Jankowski, P., 1995, Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. *International Journal of Geographical Information Systems*, 9, 3, 251-273
- Janssen R.et P. Rietveld, 1990, Multicriteria analysis and geographical information systems : An application to agriculture land-use in Netherlands, pages 129-139. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1990.
- Joerin, Florent, 1997, Décider sur le territoire. Proposition d'une approche par utilisation de SIG et de méthodes d'analyse multicritère. Thèse de Doctorat ès sciences techniques, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, département de génie rural, 269 p.
- Kédowidé, C.M.G, 2010, Atelier des acteurs sur l'Agriculture urbaine à Ouagadougou, Rapport final, IAGU/ BAU, Mairie de Ouagadougou Juillet 2010
- Kédowidé, C.M.G, M. Sédogo et G. Cissé, 2010, Dynamique spatio temporelle de l'agriculture urbaine à Ouagadougou : Cas du Maraîchage comme une activité montante de stratégie de survie, *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 10 numéro 2, [En ligne] URL : <http://vertigo.revues.org/10312>, consulté le 29 novembre 2010.
- Khalil, W.A.S., A. Goonetilleke, S. Kokot et S. Carroll, 2003, Use of chemometric methods and multicriteria decision-making for site selection for sustainable on-site sewage effluent disposal. *Analytica Chimica Acta*, 506(1) :41-56, 2003

- Kiker, G.A., T.S. Bridges, I. Linkov, A. Varghese et T.Seager, 2005, Application of multicriteria decision analysis in environmental decision-making. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 1(2) :1-14,
- Koc, M. macRae R., Mougeot L. J. A. et Welsh J. (éd), 2000, *Armer les Villes contre la faim – Systèmes alimentaires urbains durables*, Ottawa (Canada), CRDI
- Koo, B.K. et P.E. O'Connell. 2006, An integrated modelling and multicriteria analysis approach to managing nitrate diffuse pollution : 1. Framework and methodology. *International Journal of Science of the Total Environment*, 359 :1-16,
- Laaribi, Amoor, 2000, *SIG et analyse multicritère*, 196p, Paris Hermès sciences publications
- Lahdelma, R., P. Salminen et J. Hokkanen, 2000, Using multicriteria methods in environmental planning and management. *Environment Management*, 26(6) :595-605
- Mougeot, L. J. A., 2006, *Cultiver de meilleures Villes : Agriculture urbaine et développement durable*, CRDI, 116p
- Moustier, P., 1996, Champs et Jardins : des espaces complémentaires pour les marchés urbains. In Pichot J. et al. (éd), *Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides*. Montpellier, France, Cirad, Colloques, p. 536-542
- Ndiaye, A., 2008, *Etude de dynamique de l'agriculture urbaine à Ouagadougou et ses environs*, Mémoire de fin d'étude d'ingénieur, ZIE, Burkina
- Ouattara, A. et S. Lanko, 2009. La croissance urbaine au Burkina Faso, In *Rapport d'analyse des données du Recensement Général de la population et de l'habitat de 2006*, MEF/CNR / BCR
- Paegelow, M., 2004, *Géomatique et géographie de l'environnement. De l'analyse spatiale à la modélisation prospective*. Habilitation à Diriger des Recherches. Université de Toulouse – Le Mirail ; 2 tomes de 211 et de 20 p
- Paegelow, M., 2007, *Aide à la décision et EMC*, Note de cours ; Université de Toulouse 2, le Mirail, France
- Paegelow, M. et M.T. Camacho Olmedo, 2005, Possibilities and limits of prospective GIS land cover modeling - a compared case study: Garrotxes (France) et Alta Alpujarra Granadina (Spain), *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 19, No 6, 697-722.
- Parrot, L, coord. 2008a, *Agricultures et développement urbain en Afrique subsaharienne. Gouvernance et approvisionnement des villes*, l'harmattan, 208p
- Parrot, L, coord. 2008b, *Agricultures et développement urbain en Afrique subsaharienne. Environnement et enjeux sanitaires*, l'harmattan, 201p
- Raju, K.S. et C.R.S. Pillai, 1999a, Multicriterion decision making in performance evaluation of an irrigation system. *European Journal of Operation Research*, 112, 3, 479-488, 1.
- RUAF, 2005. Programme « Villes agricoles du Futur », International network of Resource Centres on Urban Agriculture and Food security (RUAF Fondation), [En ligne] URL : <http://www.iagu.org/PDF/projetvilleagricoledufutur.pdf>, consulté le 20 septembre 2010
- Saaty, T.L, 1977, A scaling method for priorities in hierarchical structures, *Journal of mathematical Psychology*, No 15, 234-281.
- Sanon, M., S.E. Barro et D. Bambara, 2007, *Schéma Directeur d'Aménagement du Grand Ouaga, Rapport du Volet Agronomie*, Groupe AAPUI - ARCADE, DGUTF –MHU, Burkina
- Sou, M. 2009. *Recyclage des eaux usées en irrigation : potentiel fertilisant, risques sanitaires et impacts sur la qualité des sols*, Thèse EPFL, 178p.
- Smith, O., P. Moustier, L.J.A. Mougeot et A. Fall, 2004. *Développement durable de l'agriculture urbaine en Afrique francophone : Enjeux, concepts et methods*, CRDI, 175p. [En ligne] : http://www.idrc.ca/fr/ev-52181-201-1-DO_TOPIC.html, consulté le 20 septembre 2010.
- Wéthé, J., M. Kientga, D. Koné et N. Kuela, 2001. *Profil de recyclage des eaux usées dans l'agriculture urbaine à Ouagadougou. Projet de recherche/consultation pour le développement durable de l'agriculture urbaine en Afrique de l'Ouest*, IAGU, 2001, Rapport d'étude
- Yager, R.R, 1988, On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 18(1) :183-190, 1988